

Pengaruh Molaritas Dan Jumlah Pencelupan Pada Sintesis Copper-Cobalt Oksida Berbasis Nitrat Di Atas Substrat Aluminium Sebagai Solar Selective Absorber Dengan Metode Sol-Gel Dip Coating

Muhammad Iqbal¹⁾, Amun Amri²⁾, Ahmad Fadli²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia
Laboratorium Material dan Korosi

Jurusan Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

¹⁾Email : Iqbal.mhd1704@yahoo.com

ABSTRACT

Key component that determining the efficiency of a solar thermal collector is a thin layer on the surface of the collector that absorbs solar radiation selectively and convert it into heat energy or commonly called solar selective absorber (SSA). Solar selective absorber can be synthesized using sol-gel dip coating method. The purpose of this research is to know the effect variation molar of copper nitrate-cobalt nitrate and number of dipping-drying cycles to absorptance copper-cobalt coating. Pieces of aluminum with size 2x4 cm were cleaned using a solution of phosphoric acid 10% wt at temperature $\pm 50^{\circ}\text{C}$ for 10 minutes. Sol precursor prepared by mixing copper nitrate and cobalt nitrate in ethanol and the addition of propionic acid as a catalyst and complexing agent. The mixture was stirred for 2 hours at room temperature. The coating were synthesized by varying molar precursors (ratio 1:1) 0.1M, 0.25M, 0.4M and number of dipping-drying cycles 1x, 2x, 3x, 4x, 6x, 8x and 10x, then annealed at temperature 550°C for 1 hour. Reflektance spectra in the area of UV-Vis-NIR show that increased cycles of dipping-drying cycles (which increases the thickness of the coating) increase the value of absorptance (α), as well as the increase in the concentration of sol precursors. The results showed that the highest absorptance value found in coatings which was synthesized using mixture copper nitrate and cobalt nitrate molar variations 0.1 M at 10x cycles (dyeing and drying) with absorptance (α) = 88.69%. Further characterization showed emittance values (ϵ) = 12.9%. Morphological analysis showed that the surface structure of the coating was composed of nanometer-sized particles that form the porous structure. XRD analysis showed there was no change of formed crystal structure of copper oxide and cobalt oxide by increasing temperature. Adhesion test showed the adhesion between the coating and the substrate can be categorized as very strong (5B scale ASTM D 3359)

Keywords : *aluminum, coating, solar selective absorber and sol-gel dip coating*

1. Pendahuluan

Energi terbagi atas dua komoditas, yaitu komoditas energi primer dan komoditas energi sekunder. Komoditas energi yang bisa ditambang atau diperoleh langsung dari sumber daya alam disebut dengan komoditas primer. Seluruh komoditas energi yang bukan primer tetapi diproduksi dari komoditas primer disebut

komoditas sekunder [International Energy agency, 2005]. Komoditas energi primer ada yang sifatnya tidak terbarukan (non-renewable) dan terbarukan (renewable). Minyak bumi, gas bumi dan batubara termasuk kategori tidak terbarukan, sedangkan panas bumi, matahari, angin, air dan bio-fuel termasuk kategori terbarukan [Kementerian ESDM, 2012].

Potensi energi terbarukan di Indonesia sangat besar dan beragam, sehingga pemanfaatan yang optimal akan meningkatkan kemandirian energi. Selain biomassa, sumber energi terbarukan yang telah cukup banyak dimanfaatkan adalah panas bumi dan tenaga air, sedangkan sumber energi terbarukan lainnya seperti tenaga matahari dan angin belum banyak dimanfaatkan dan masih dalam tahap pengembangan, seperti yang tertera pada Tabel 1:

Tabel 1 Potensi Energi Terbarukan

No	Energi Terbarukan	Potensi
1	Air	75,679 MW
2	Mini/Mikro air	769,69 MW
3	Panas Bumi	29.215 MW
4	Biomassa	49.810 MW
5	Energi Matahari	4.80 kWh/m ² /hari
6	Energi Angin	3-6 m/s
7	Energi Laut	43.000 MW

Sumber: Kementrian ESDM, [2012]

Diantara berbagai energi terbarukan atau non-konvensional seperti energi angin, energi laut, panas bumi dan biomassa, energi matahari merupakan yang paling penting dan dapat menjadi sumber utama untuk pasokan listrik [Choudhury,2002]. Saat ini pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi alternatif mendapatkan perhatian yang cukup besar dari banyak negara di dunia untuk mengatasi krisis energi, khususnya minyak bumi, disamping jumlahnya tidak terbatas, pemanfaatannya juga tidak menimbulkan polusi yang dapat mencemari lingkungan. Potensi energi matahari di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4.8 kWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp [Badan Litbang ESDM,2012].

Pemanfaatan energi matahari setidaknya dapat dilakukan dengan 2 macam cara yaitu modul fotovoltaik

(*photovoltaic*) dan kolektor panas matahari (*solar thermal collector*). Modul fotovoltaik mengkonversi radiasi matahari secara langsung menjadi energi listrik, namun konversinya rendah (<20%), sedangkan kolektor panas matahari mengkonversi radiasi matahari menjadi panas terlebih dahulu (konversi tinggi >60%) kemudian panas tersebut dikonversi menjadi listrik dengan menggunakan *thermoelectric converter* (TEC) atau dapat pula digunakan untuk pembangkitan uap pada instalasi pembangkit listrik tenaga matahari (*concentrating solar power*) [Chow, 2010 dan Mastai, dkk., 2010]. Konversi yang tinggi pada *solar thermal collector* adalah akibat dari sifat bahan coating pada permukaan *solar thermal collector* yang bersifat selektif (menyerap UV-VIS-NIR pada panjang gelombang 0.3-2.5 μm , namun menolak MID-FAR IR > 2.5 μm).

Rendahnya pemanfaatan energi matahari di Indonesia disebabkan oleh mahalnya sel surya yang menjadi komponen utama. Kolektor panas matahari merupakan solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi mahalnya biaya pembuatan sel surya.

2. Metode Penelitian

Tahap pembuatan SSA (*Solar Selective Absorber*) berbasis tembaga nitrat trihidrat ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), kobalt nitrat hexahidrat ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) di atas substrat aluminium dengan metode *dip coating* diawali dengan proses pembersihan aluminium. Proses pembersihan aluminium diawali dengan pembuatan larutan *phosphoric acid* 10% wt, kemudian aluminium dicelupkan ke dalam larutan *phosphoric acid* 10% wt pada suhu 50°C selama 10 menit, aluminium dicuci kembali dengan akuades dan dikeringkan pada suhu kamar. Proses pembersihan aluminium

bertujuan untuk menghilangkan zat pengotor dan zat organik yang menempel pada permukaan aluminium.

Selanjutnya pembuatan lapisan coating pada permukaan aluminium dilakukan dengan rasio molar tembaga nitrat ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ (trihidrat), kobalt nitrat ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ (hexahidrat) dan asam propionat 1:1:1 dengan berbagai variasi molar serta variasi ketebalan film. Pada tahapan prosesnya serbuk tembaga nitrat trihidrat ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) dan kobalt nitrat hexahidrat ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ (rasio 1:1) ditimbang. Selanjutnya larutkan masing-masing dengan etanol didalam labu ukur 100 mL. Setelah itu masukkan larutan kedalam buret. Pindahkan larutan kedalam gelas kimia dan tambahkan asam propionat kedalam campuran. Sol tembaga-kobalt 0.1M terbentuk setelah pencampuran hingga 40mL. Campuran tersebut diaduk selama 2 jam pada suhu kamar dalam wadah yang tertutup.

Aluminium yang telah dibersihkan dilapisi dengan campuran zat dengan menggunakan proses *dip coating* (pelapisan dengan pencelupan). Aluminium + *wet gel coating* dikeringkan pada *hotplate* pada suhu 200°C selama 1 menit. Untuk ketebalan coating yang berbeda diperoleh dengan pengulangan step 3 dan 4. *Annealing* akhir dilakukan dalam *furnace* pada suhu 550°C selama 1 jam. Percobaan di atas diulang untuk tembaga nitrat trihidrat ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) dan kobalt nitrat hexahidrat ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) dengan konsentrasi 0,25M dan 0,4M. Aluminium yang telah dilapisi akan dianalisa untuk mengetahui sifat absorptansinya (daya serap radiasi solar) dengan menggunakan UV-Vis-NIR *spectrophotometer*. Standar analisa yang digunakan yaitu AMI.5 (ISO 9845-1/1992) [Duffie dan Beckman, 2006].

Menggunakan UV-VIS-NIR, plot data persentase (%) reflektansi vs panjang gelombang diperoleh. Dengan menggunakan template hitung absorptansi

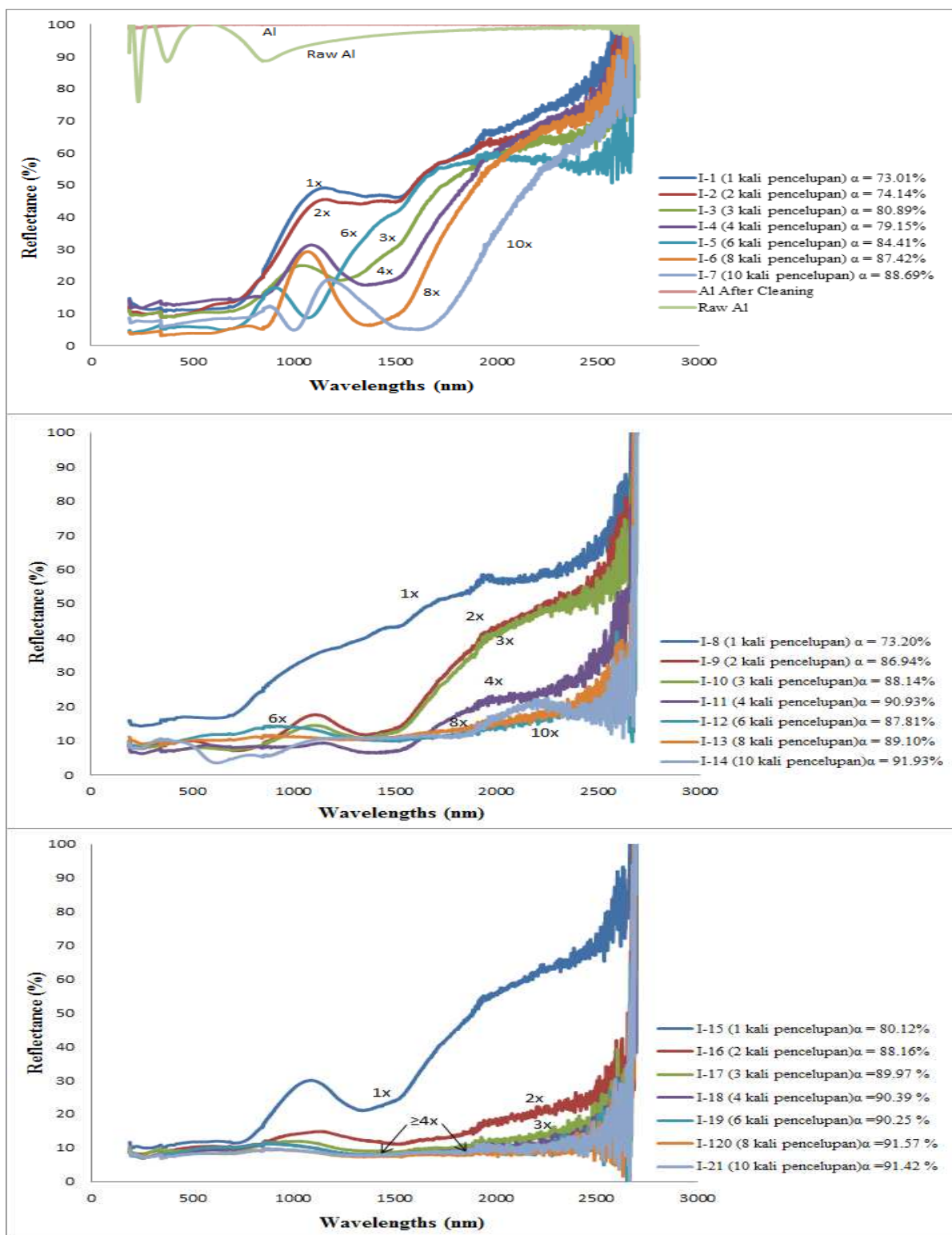
(excel) dapat diperoleh nilai absorptansi [Duffie dan Beckman,2006]. Absorptansi optimal diperoleh bila kurva reflektansi memberikan nilai absorptansi tertinggi namun memotong garis *cut-off* (panjang gelombang $2,5 \mu\text{m}$) pada kisaran reflektansi $\geq 50\%$ [Duffie dan Beckman,2006]. Dengan pedoman ini maka akan diperoleh nilai *Solar Selective Absorber* terbaik. Selanjutnya setelah didapat *coating* yang terbaik, dilakukan beberapa karakterisasi untuk melihat sifat emitansi dari *coating* terbaik tersebut. Karakterisasi FE-SEM dilakukan untuk melihat morfologi dari *coating* tersebut. Karakterisasi XRD juga dilakukan untuk melihat dan mempelajari struktur Kristal *coating* dengan absorptansi terbaik dan Karakterisasi adhesi dilakukan untuk menganalisis kekuatan adhesi *coating* dengan substrat .

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Nilai Absorptansi (α)

Pada umumnya *coating* yang telah disintesis memiliki reflektansi rendah ($<20\%$) pada panjang gelombang UV-Vis, dan reflektansi sedang (hingga sekitar 70%) pada panjang gelombang NIR (gambar 1a-c). profile spektra seperti ini mengindikasikan bahwa *coating* bersifat sebagai *spectrally selective absorber*.

Pada gambar 1a-c, dapat dilihat bahwa meskipun terdapat sedikit fluktuasi, umumnya peningkatan jumlah pencelupan (ketebalan) akan meningkatkan nilai absorptansi (α). Hal ini sesuai seperti apa yang disebutkan oleh Barrera,dkk [2004] dan Bayon,dkk [2008] bahwa ketebalan lapisan penyerap (SSA) menentukan nilai absorptansi akhir dari sistem. Fenomena kenaikan absorptansi juga ditunjukkan oleh peningkatan konsentrasi prekursor. Secara umum konsentrasi meningkat maka nilai absorptansi (α) meningkat pula. Hal ini menunjukkan bahwa densitas *bulk* juga berpengaruh pada absorptansi.



Gambar 1 Spektra Reflektansi dan Nilai Absorptansi (α) pada Sintesis *coating* Tembaga Kobal Oksida diatas Substrat Alumunium dengan Rasio Mol 1:1 pada Konsentrasi : a) 0.1M, b) 0.25M, c) 0.4M.

Dari Gambar 1 menunjukkan nilai absorptansi *solar selective absorber* pada variasi konsentrasi dan jumlah pencelupan. Pada konsentrasi [Cu]:[Cu]:[Pa] 0.1M nilai absorptansi tertinggi diperoleh pada 10 kali siklus (pencelupan-pengeringan) walaupun terdapat sedikit penurunan nilai absorptansi pada 4 kali siklus (pencelupan-pengeringan). Hal yang sama ditunjukkan pada konsentrasi [Cu]:[Cu]:[Pa] 0.25M dan 0.4M bahwa nilai absorptansi tertinggi diperoleh pada 10 kali siklus (pencelupan-pengeringan) pada masing-masing variasi konsentrasi. Secara umum peningkatan konsentrasi prekursor dan jumlah pencelupan (ketebalan) akan meningkatkan nilai absorptansi (α) yang diperoleh.

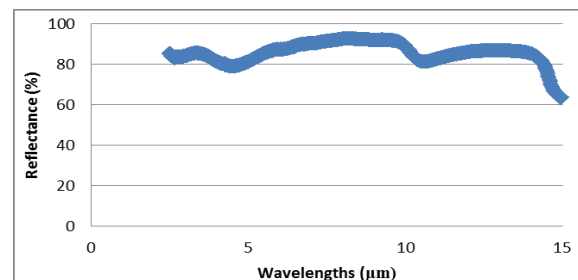
Nilai absorptansi tertinggi ($\alpha=91.93\%$) tercapai ketika lapisan disintesis menggunakan 0.25M tembaga nitrat dan 0.25M kobal nitrat yang dideposisi pada substrat aluminium dengan 10 kali siklus (pencelupan-pengeringan). Namun kriteria Absorptansi optimal diperoleh bila kurva reflektansi memberikan nilai absorptansi tertinggi namun memotong garis *cut-off* (panjang gelombang 2,5 μm) pada kisaran reflektansi $\geq 50\%$ [Duffie dan Beckman, 2006; Amri, dkk., 2013]. Oleh karena itu nilai absorptansi optimal ditunjukkan pada lapisan yang disintesis menggunakan 0.1M prekursor tembaga dan kobal nitrat pada siklus 10 kali pencelupan dengan nilai absorptansi (α) = 88.69% (gambar 4.1a).

3.2 Karakterisasi *Coating* dengan Absorptansi Terbaik

3.2.1 Nilai Emitansi (ϵ)

Spektra reflektansi dari lapisan tembaga kobal yang disintesis menggunakan prekursor 0.1M dengan 10 kali siklus pencelupan-pengeringan (*coating* dengan absorptansi terbaik) dalam panjang gelombang inframerah (*infrared*) dapat dilihat pada gambar 2. Dari gambar 2 dapat

dilihat bahwa kurva reflektansi terdapat pada kisaran 80-90%. Penurunan reflektansi pada panjang gelombang (λ) $\geq 14.4 \mu\text{m}$ (ujung spektra) adalah eror/keterbatasan dari alat.



Gambar 2 Spektra Reflektansi Sintesis *Coating* Tembaga Kobal Oksida diatas Substrat Aluminium pada Kosentrasi 0.1M dengan Siklus 10 Kali Pencelupan

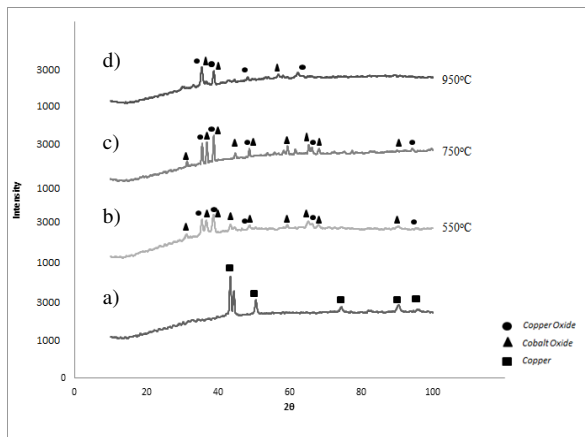
Pengolahan data reflektansi melalui *spreadsheet* berdasarkan metode Duffie dan Beckman, menghasilkan nilai emitansi (ϵ) = 12.9%. Hasil ini cukup tinggi untuk suatu *solar selective absorber* (SSA) karena lebih tinggi dari 10% [Ienei, dkk., 2010]. Berdasarkan hasil yang didapat, kita dapat menentukan selektivitas dari lapisan s = α/ϵ = 0.8869/0.129 = 6.87.

3.2.2 Analisa Struktur Kristal

Analisa XRD (*X-Ray Diffraction*) bertujuan untuk melihat senyawa kimia dan struktur Kristal yang terdapat di dalam sampel beserta komposisinya. Berikut adalah hasil analisa XRD untuk sampel dengan absorptansi terbaik pada *coating* tembaga kobal yang disintesis dengan konsentrasi 0.1M dengan siklus 10 kali pencelupan (pencelupan dan pengeringan).

Gambar 3 menunjukkan difraktogram *coating* pada permukaan substrat yang disintesis pada berbagai suhu *annealing*. Gambar 3b merupakan spektra XRD *coating* yang diannealing pada suhu 550°C berdasarkan *ICDD card* 00-045-0937 dan *ICDD card* 01-080-1533 merupakan fase

kristal *Copper Oxide* dan fase kristal *Cobalt Oxide*. Puncak-puncak utama pada 2θ : 38.70° (111), 35.44° (002), 48.75° (202) merupakan puncak-puncak dari *copper oxide* dan pada 2θ 36.72° (311), 44.64° (400), 59.31° (511) merupakan puncak-puncak untuk *cobalt oxide* sangat mendekati puncak dari ICDD referensi *copper oxide* dan *cobalt oxide*. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut terdapat masing-masing 3 puncak pada sudut 2θ yang sama sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa telah terbentuk lapisan absorber *copper oxide* dan *cobalt oxide* di atas substrat alumunium.



Gambar 3 Difraktogram *Coating* yang disintesis dengan Konsentrasi $[Cu]=[Co]=0.1M$ pada suhu *Annealing*: a) Tanpa *coating* suhu $550^\circ C$, b) $550^\circ C$, c) $750^\circ C$ dan d) 950° .

Pada suhu $750^\circ C$ puncak-puncak utama yang terbentuk pada 2θ : 38.91° (111), 35.55° (002), 48.72° (202) untuk *copper oxide* dan 2θ : 36.88° (311), 44.86° (400), 59.36° (511) untuk *cobalt oxide* sangat mendekati puncak dari ICDD referensi *copper oxide* dan *cobalt oxide*. Pada suhu $950^\circ C$ puncak-puncak yang terbentuk hampir sama dengan suhu $550^\circ C$ dan $750^\circ C$. Puncak yang terbentuk adalah puncak-puncak *cooper oxide* dan *cobalt oxide*. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan yang signifikan terhadap puncak

yang terbentuk pada setiap kenaikan suhu *annealing*.

Untuk mengukur Diameter kristal dari *copper oxide/cobalt oxide* digunakan persamaan *Scherer* sebagai berikut :

$$D = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta} \dots\dots\dots (1)$$

Tabel 2 Ukuran Kristal *Copper Oxide /Cobalt Oxide* dengan Variasi Suhu *Annealing* yang dihitung dari Puncak Tertinggi

Suhu <i>Annealing</i>	Cos θ	FWHM (Radian)	Ukuran Kristal (nm)
$550^\circ C$	0.877	0.029	5.36
$750^\circ C$	0.856	0.026	6.18
$950^\circ C$	0.450	0.023	13.43

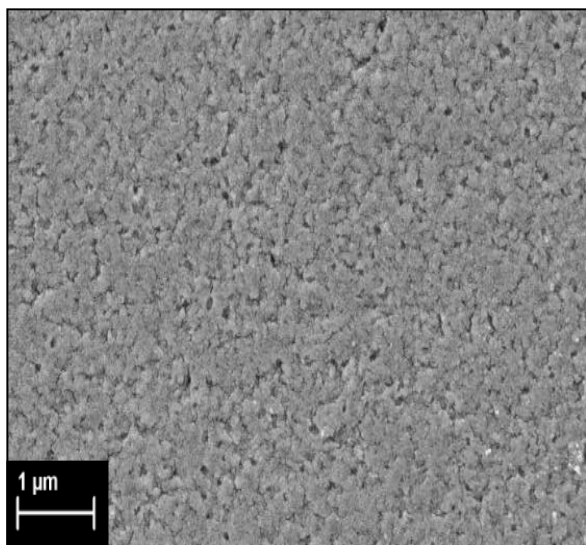
Dari data XRD dapat dihitung diameter kristal *copper oxide/cobalt oxide* dengan cara memasukkan data θ , λ dan B (nilai FWHM (*Full Width at Half Maximum*)) dari puncak dengan intensitas tertinggi kedalam persamaan *scherrer*, maka didapatkan diameter kristal pada setiap suhu *annealing* yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 diatas. Diameter kristal yang meningkat seiring dengan penambahan temperatur *annealing* disebabkan oleh semakin besar energi termal yang diterima. Dapat disimpulkan bahwa dengan meningkatnya suhu *annealing* tingkat kristalinitas semakin baik serta diameter kristal yang didapatkan lebih besar sehingga pertumbuhan kristal menjadi lebih sempurna [Rilda,2014].

3.2.3 Analisa Morfologi

Morfologi permukaan tembaga-kobal yang terdeposisi pada substrat alumunium dapat dilihat menggunakan analisa FE-SEM (*field emission scanning electron microscopy*). Gambar 4 menunjukkan morfologi permukaan tembaga-kobal yang disintesis dengan kosentrasi tembaga-kobal

0.1. Secara umum dapat dilihat bahwa permukaan *coating* relatif halus dan merata.

Perbesaran lebih lanjut menunjukkan bahwa permukaan merupakan struktur berpori yang tersusun atas sebaran nanopartikel ter-aglomerasi (20-50 nm). Partikel yang teraglomerasi ini bisa terbentuk karena adanya proses *annealing* sehingga partikel bergabung membentuk partikel-partikel dengan ukuran yang lebih besar [Rad dkk, 2014]. Struktur berpori seperti ini merupakan situs yang kondusif untuk menyerap foton/cahaya matahari agar terjadi multi-refleksi dalam pori yang berkontribusi meningkatkan absorptansi.



Gambar 4 Morfologi Permukaan Menggunakan FE-SEM (*field emission scanning electron microscopy*) pada *Coating* Absorptansi Terbaik

3.2.4 Sifat Adhesi *Coating*-Substrat

Pengujian adhesi dilakukan untuk mengetahui sifat daya rekat *coating* terhadap substrat aluminium. Pengujian dilakukan pada *coating* dengan absorptansi terbaik yaitu pada konsentrasi tembaga-kobal 0.1M dengan 10 kali siklus (pencelupan-pengeringan). Metode yang digunakan adalah semi-kualitatif ASTM D 3359 *Cross Hatch Cutter*.



Gambar 5 Sampel *Coating* Setelah di Uji dengan ASTM D 3359

Berdasarkan hasil analisa, daya rekat (*adhesi*) yang terlihat pada gambar 5 dapat diperoleh hasil bahwa permukaan mempunyai daya ikat *coating* yang baik (5B) antara lapisan dengan substrat. Hal ini menunjukkan tidak adanya lapisan *coating* yang terkelupas dari substrat. Dari pengujian daya rekat (*adhesi*) setelah melihat dengan menggunakan kaca pembesar dan pencahayaan yang baik, memperlihatkan sampel mempunyai kekuatan adhesi yang sangat bagus sekali.

4. Kesimpulan

Coating tembaga kobal oksida telah berhasil terdeposisi pada permukaan substrat aluminium menggunakan teknik *sol-gel dip coating*. Spektra reflektansi pada area UV-Vis-NIR menunjukkan bahwa peningkatan siklus pencelupan yang meningkatkan ketebalan *coating* dapat meningkatkan nilai absorptansi (α), begitu juga dengan peningkatan konsentrasi sol prekursor.

Absorptansi optimum ($\alpha=88.7\%$) dicapai pada *coating* yang disintesis menggunakan $[Cu]=[Co]=0.1M$ yang dideposisi dengan 10 siklus pencelupan (pencelupan-pengeringan). Nilai emitansi untuk *coating* ini adalah 12.9% sehingga menghasilkan *coating* dengan tingkat selectivitas $s \cong 6.87$.

Secara keseluruhan morfologi permukaan tembaga-kobal menunjukkan hasil yang baik dengan lapisan yang halus dan merata sepanjang substrat. Analisa morfologi mengindikasikan bahwa permukaan merupakan struktur berpori yang tersusun atas rangkaian nanopartikel yang teraglomerasi yang merupakan situs yang kondusif penyerapan foton/ cahaya matahari. Permukaan koating dengan absorptansi terbaik mempunyai daya ikat *coating* sangat baik sekali (5B ASTM D 3359) antara *coating* dengan substrat.

Daftar Pustaka

- Badan Litbang ESDM, 2012. *Matahari untuk PLTS di Indonesia*, www.litbang.esdm.go.id, diakses pada 24 April 2015, Pkl. 14.33 WIB.
- Barrera, C.E., Avila G.A., Rodil S., dan Huerta, L, 2004, *Cobalt-copper oxide compound for selective solar absorber*. In: World renewable energy congress (WREC) VIII.
- Bayon, R. G., Vicente, S., dan Morales, A, 2010, *Durability Tests and Up-scaling of Selective Absorbers Based on Copper-Manganese Oxide Deposited by Dip-coating*, Solar Energy Materials and Solar Cells, 94 (6):998-1004.
- Chouhury, G. W, 2002, *Selective Surface for Efficient Solar Thermal Conversion*, Bangladesh Renewable Energy Newsletter.
- Chow, T. T, 2010, *A Review on Photovoltaic/Thermal Hybrid Solar Technology*, Applied Energy, 87 (2):365-379.
- Duffie, J. A. dan Beckman, W. A, 2006, *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Ienei, E., Isac, L., Cazan, C., dan Duta, A, 2010, *Characterization of Al/Al₂O₃/NiO Solar Absorber Obtained by Spray Pyrolysis*, Solid State Sciences, 12 1894-1897.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2012. *Kajian Indonesia Energy Outlook*, www.esdm.go.id, diakses pada 17 April 2015, Pkl. 19.50 WIB.
- Mastai, Y., Polarz, S., dan Antonietti, M. 2012, *Silica-Carbon Nanocomposites— New Concept for The Design Of Solar Absorbers*. Advance Functional Material, 12:197–202.
- Rad, A., Hashjin, T., Osman, M. s., dan Faghihi, S, 2014, *Improved Bio-Pysical Performance of Hydroxyapatite Coatings Obtained by Electrophoretic Deposition at Dynamic Voltage*, Journal Ceramics International, 40 12681-12691.
- Rilda, Y., Reatiani, M. R., dan Syukri, 2014, *Sintesis dan Karakterisasi Nanokristal TiO₂-SiO₂/Kitosan : Efek Temperatur Kalsinasi dan Surfaktan (TABr)*. Jurnal Kimia Unand, (ISNN. 2303-3407).